表計算ソフト「エクセル」による CR型RIAAイコライザーの正確な設定

加々美　稔

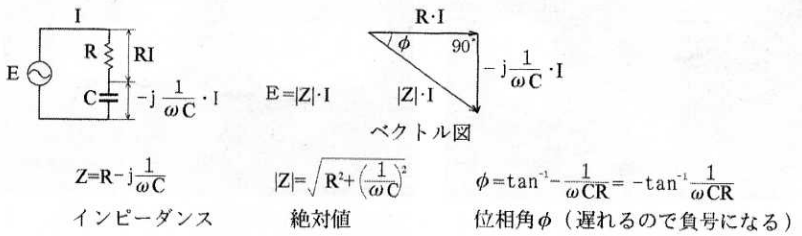
はじめに

CR型フォノイコライザー（EQ）設計で難関となるネットワーク（NW）の設定に，表計算ソフト「エクセル」による，シミュレーション・ワークシートを使い，RIAA偏差を最小に追い込み，実装後の調整をほとんど要しない精度が得られましたのでご紹介します．

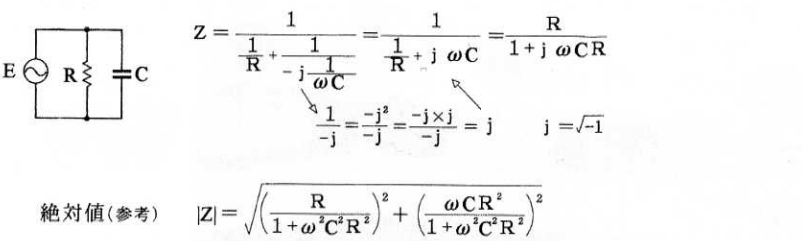
EQの減衰特性を算出し，RIAA偏差を調整する

再生RIAAカーブの変曲点の時定数は，NWを構成する複数のCRが相関して決まりますので，これを2つのCとRに特定して計算すれば，どうしても実装値の調整が必要になるでしょう．

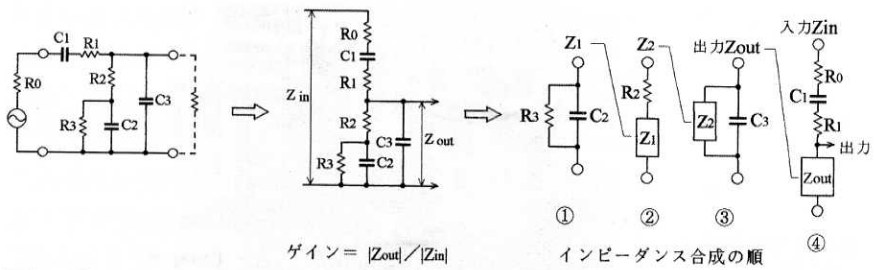
それならば，周波数の各ステップごとにNWの入・出力インピーダンス（Z）を計算し，その絶対値から1kHz基準のゲイン$|Z_{out}|/|Z_{in}|$を求め，これと再生RIAAとの偏差をシミュレートしながらCR値を調整する方法が手っ取り早いと考えました．



［図1-a］RC直列のインピーダンス



［図1-b］RC並列のインピーダンス



［図2-a］EQのゲインとインピーダンスZの合成

合成 ①

$Z_1=\frac{1}{\frac{1}{R3}+\frac{1}{-j\frac{1}{\omega C2}}}=\frac{1}{\frac{1}{R3}+j\omega C2}$

=IMDIV(1,COMPLEX(1/H$21,G32*H$24))

R3　ω　C2

合成 ②

$Z_2=R_2+Z_1$

=IMSUM(H$20,H32)

R2　Z2

ゲインの計算

ゲイン(dB)＝ 20·Log(|Zout|／|Zin|)

=20*LOG10(IMDIV(IMABS(J32),IMABS(K32)))

Zout　Zin

絶対値 |Zout| =IMABS(J32)

Zout

絶対値 |Zin| =IMABS(K32)

Zin

合成 ③

$Z_{out}=\frac{1}{1/Z_2+j\omega C_3}$

=IMDIV(1,IMSUM(IMDIV(1,I32),COMPLEX(0,G32*H$25)))

Z2　ω　C3

合成 ④

$Z_{in}=R_1+R_0-\frac{1}{\omega C_1}j+Z_{out}$

=IMSUM(COMPLEX(H$18+H$19,-1/G32/H$23),J32)

R0　R1　C1　Zout

［図2-b］インピーダンスZ合成式（上）と関数を使ったエクセルのセル入力式（下）

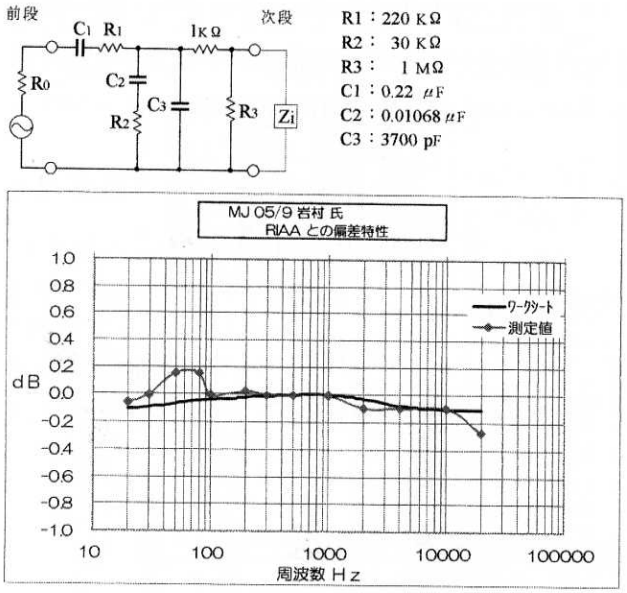
複素数によるZの合成計算

RC直列回路（**図1-a**）に交流電圧Eが加わり，交流電流Iが流れている場合，Rに生ずる電圧は電流Iと同位相ですが，Cに生ずる電圧の位相は90°遅れます．

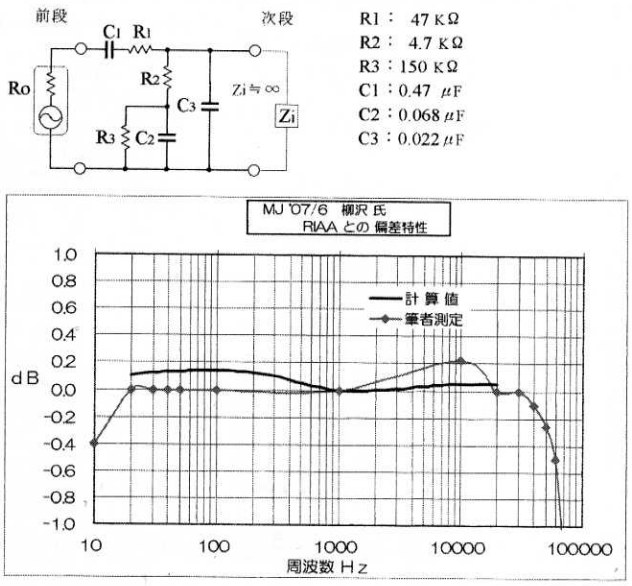
そのため，R〔Ω〕とCのリアクタンス$X_C=1/(\omega C)$〔Ω〕の合成Zを，単純に$Z=R+1/(\omega C)$とはできませんので，虚数$-j$（$j=\sqrt{-1}$）を使い$Z=R-j\cdot 1/(\omega C)$とします．

RとL直列の場合では，Lはリアクンスが$X_L=\omega L$，電圧の位相は90°進むので，合成Zは　虚数$+j$を使い$Z=R+j\cdot\omega L$とします．

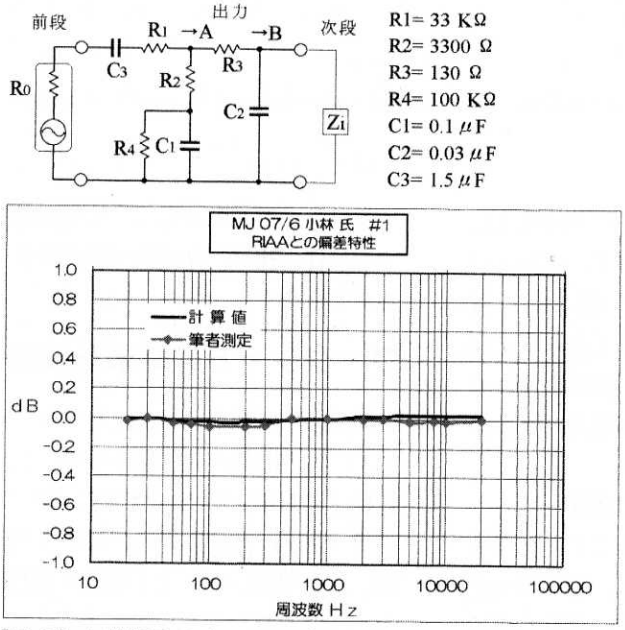
RとC並列の合成Zについては，やや面倒で，**図1（b）**をご覧ください．また，Zの絶対値（$|Z|$）は，ベクトル図のように，三平方の定理で求められます．



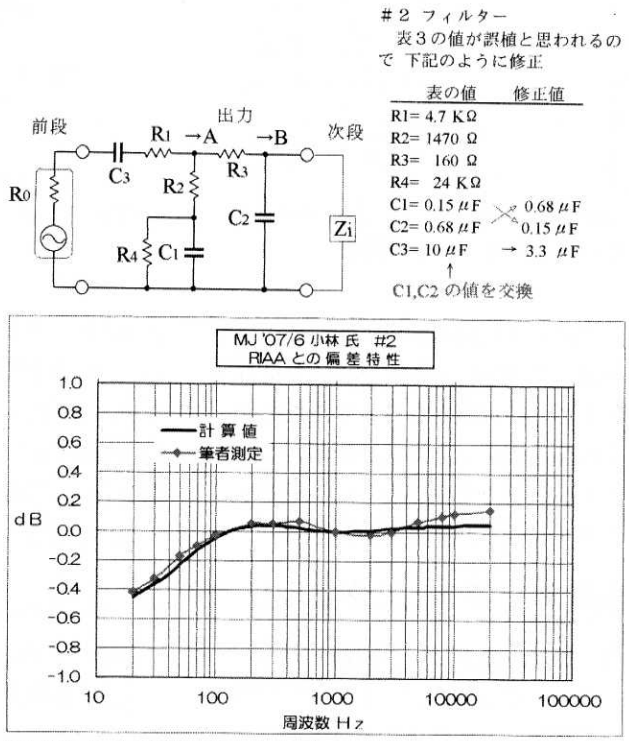
［図4］岩村保雄氏（2005年9月号）のイコライザー



［図5］柳沢正史氏（2007年6月号）のイコライザー



［図6］小林悟氏のイコライザー＃1（2007年6月号）



［図7］小林悟氏のイコライザー＃2（2007年6月号）

した．なお，小林氏の＃2，＃3については，掲載誌上の「表3」の値では埒外なカーブとなりますので，検討したところ，C_1，C_2が入れ違いの誤植と思われましたので交換し，カーブが大きく外れる一部の値も「？」とみて修正しました．

以上6例との比較結果は，まずは前記限界内で「一致」とみましたが，いかがでしょう（ただし，小林氏の＃2,＃3は，訂正したCR値による）．

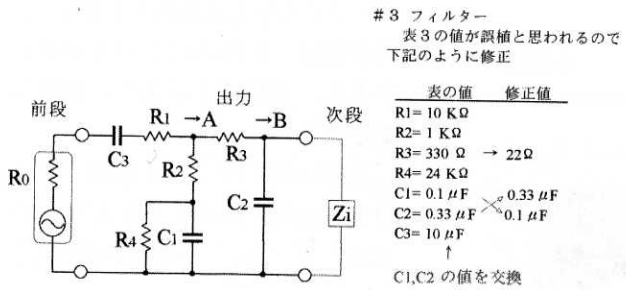
調整前のEQ素子の設定値

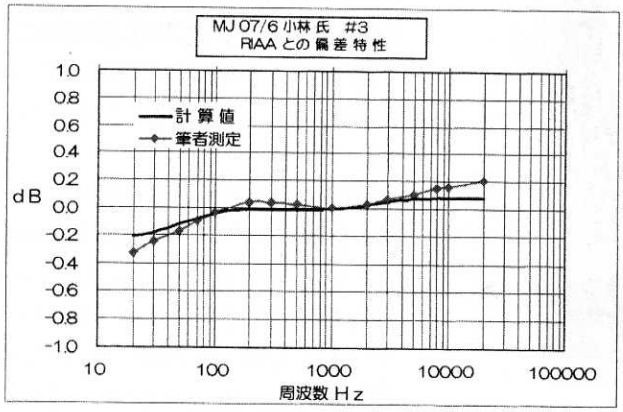
シミュレーションを始める際のEQ素子の設定は，条件提示から選択し，計算するマクロをつくるべきところですが，むしろ操作が煩雑になるのではと思い，手計算としました．次に，**図10**により，暫定値の設定について述べます．

EQにおけるCRのNWは，前の増幅段の負荷となりますので，前段の出力Zに対し，NWのZが充分大きくなるように決めます．また，前段の出力ZはCRネットワークの入力Zの一部になります．

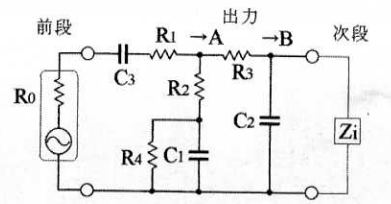
・R_1

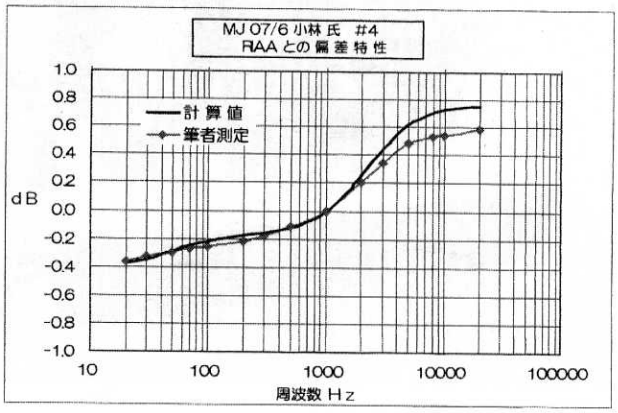
NWの$|Z|$（1kHz）は数例からみて$|Z|=R_1\times1.1\sim1.2$となるようですので，これからR_1を決めます．



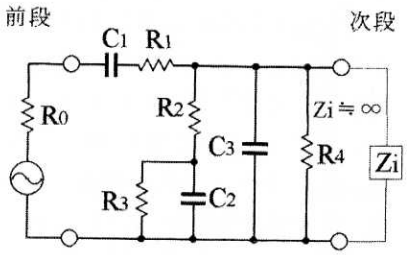


［図8］小林悟氏のイコライザー＃3（2007年6月号）





［図9］小林悟氏のイコライザー＃4（2007年6月号）



［図10］EQのCRネットワーク回路

・R_2

$R_2 \fallingdotseq R_1 \times 0.1 -$（前段の$Z$）

・C_2

ターンオーバーの時定数T_1（318 μs）から$C_2 \fallingdotseq T_1/R_2$

・C_3

$|Z|$の異なる数例でみて，ロールオフの時定数T2（75 μs）から，

$C_3 \fallingdotseq T_2/(R_2 \times 0.72 \sim 0.73)$

・C_1

100Hz以下の特性に関わりますが，目見当で入れ，偏差カーブを見ながらの調整とします．

・R_3，R_4

R_3，R_4は調整例からみて，どちらか一つにした方が好結果でした．値はC_1などと相関しますが，R_3または$R_4 \fallingdotseq R_1 \times$（2～10）と，おおざっぱに入れ，調整で決めます．

おわりに

以前（1984年），真空管プリアンプを製作した際，当時の8ビットPCを使い，BASICでシミュレーションプログラムをつくり，調整操作によってEQ素子を設定しましたが，実装値は無調整で決まりました．

今回作成したワークシートも同様のコンセプトですが，エクセル関数のおかげで大変コンパクトにまとまりました．また，昔のクロック10MHz程度の8ビットPCに比し高速快適な操作で，ゲーム感覚の調整作業です．

【参照資料】
1)『初歩のラジオ工学』，森田悳夫（NHK技研），理工学社，1958年．
2)『Excel 2000 操作ハンドブック』，『Excel 2000 関数ハンドブック』，中嶋洋一，ナツメ社，1999年．

サイドワインダー原稿募集

サイドワインダーとはボクシング用語の「横殴りに巻き込むように打つパンチ」のことで，それが「思いもかけない意見や見方」という意味で俗に使われるようになったものです．
本誌では，読者の方々の自由活発な「サイドワインダー」を募集しています．記事の感想やご意見，メーカーへの要望，オーディオの実験結果発表，音楽やオーディオに関するエッセイなど，テーマは自由です．採用分は掲載号と薄謝を進呈します．

＜投稿規定＞原稿は16字詰め，横書きでお願いします．分量は1テーマにつき，1行16字×300行以内です．製作物には回路図，表などとともに写真を添えてください．ご応募の際は，ご自宅の住所および電話番号，氏名，年齢を明記してください．なお，原稿は返却いたしませんので予めご了承ください．
＜送り先＞〒113-0033 東京都文京区本郷3-3-11
誠文堂新光社 MJ無線と実験編集部 サイドワインダー係